

УДК 669.15-194.55

А. Н. Юрченко^{*}, Д. О. Панов^{}**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г.Пермь

^{*}*sanyaurchenko4@gmail.ru*, ^{**}*dimmak-panov@mail.ru*

Научный руководитель – проф., д-р техн. наук Ю. Н.Симонов

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ И МИКРОСТРУКТУРЫ ПОСЛЕ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ЗАКАЛКИ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ 22Х2Г2С2МФ

Исследована экономнолегированная сталь 22Х2Г2С2МФ, для которой построена изотермическая диаграмма распада переохлажденного аустенита. Проанализировано общее изменение микротвердости на дилатометрических образцах при различных режимах изотермической закалки при нагрузке 100 грамм. Проведен металлографический анализ с помощью световой микроскопии с использованием двух травителей для выявления структурных составляющих после изотермической закалки стали 22Х2Г2С2МФ.

Ключевые слова: мартенсит, бейнит, изотермическая закалка, цветное травление, легирующие элементы, аустенит.

A. N. Yurchenko, D. O. Panov

RESEARCH OF PHASE TRANSFORMATIONS AND A MICROSTRUCTURE AFTER AUSTEMPERING OF SPARINGLY ALLOYED STEEL 22Cr2Mn2Si2MoV

A steel 22Cr2Mn2Si2MoV sparingly alloyed is investigated. The isothermal diagram of disintegration of the overcooled austenite is constructed. The general change of microhardness on dilatometric samples at various modes of austempering at loading of 100 grams is analysed. The metallographic analysis by means of light microscopy with use of two etchants for identification of microconstituents after isothermal holding of steel is carried out.

Keywords: martensite, bainite, austempering, color etching, alloying elements, austenite.

В настоящий момент довольно остро стоит вопрос о получении высоких механических свойств, связанных с бейнитной структурой. В ряде случаев ученым удается получить структуру бейнита или бескарбидного бейнита на традиционном печном оборудовании (например, в печах-ваннах, в печах с окислительной атмосферой) [1; 2], но чаще всего происходит образование смеси бейнита и мартенсита. Так как технология получения бейнита, а именно бескарбидного бейнита, в обычных условиях

представляет собой строгое соблюдение технологических операций, необходимо контролировать структуру и четко разграничивать различные структурные составляющие. Для фундаментального исследования необходимо построение диаграмм переохлажденного аустенита и оценка микроструктуры в результате фазовых превращений в идеальных заданных условиях имитации реального режима термической обработки.

Целью данного исследования является выявление структурных составляющих с помощью двух травителей и сравнение с построенной диаграммой распада переохлажденного аустенита для стали 22Х2Г2С2МФ.

В данной работе исследовали сталь 22Х2Г2С2МФ следующего химического состава (% масс.): 0,22 % С; 2,36 % Cr; 2,4 % Mn; 2,06 % Si; 0,39 % Mo; 0,09 % V, 0,022 % P; 0,014 % S. Дилатометрические исследования проводили с использованием закалочного дилатометра *Linseis R.I.T.A. L78* на цилиндрических образцах диаметром 3 мм и длиной 10 мм в среде гелия высокой чистоты. Температуру фиксировали с использованием термопары К-типа, приваренной к боковой поверхности образца. Исследования проводили по режиму: нагрев со скоростью 1,5 °С/с до температуры 1000 °С с выдержкой 15 минут, охлаждение проводили со скоростью 1,5 °С/с до температуры изотермической выдержки ($T_{\text{изо}}$). $T_{\text{изо}}$ были следующими: 375, 350, 325, 300, 275 °С. Время выдержки – 360 минут. Дальнейшее охлаждение проводилось со скоростью 1,5 °С/с до комнатной температуры. Далее на дилатометрических образцах исследовали микроструктуру с использованием светового микроскопа *Olympus GX51* с увеличением 500 и 1000 крат. Микрошлифы изготавливали с использованием заливочного комплекса *CitoPress-10* и полировального комплекса *Tegramin-30*. Травление проводили с использованием 4%-го раствора пикриновой кислоты в спирте и травителя *LePera* (4%-ная пикриновая кислота в спирте + 1%-й водный раствор $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$).

После проведения различных режимов изотермической закалки была построена диаграмма переохлажденного аустенита для исследуемой стали (рис. 1). Как видно из диаграммы, при $T_{\text{изо}} = 375$ и 350 °С происходит превращение из аустенита в бейнит в количестве 15 % (минимальное содержание бейнита) и 47 % (максимальное количество бейнита) соответственно. Структуре с минимальным количеством бейнитной фазы соответствует максимальное значение микротвердости $HV = 532$. Пример структуры при $T_{\text{изо}} = 375$ °С показан на рис. 2, а, б. Особенностью является то, что бейнит образуется крупноиглочатый с зубчатыми границами. При дальнейшем охлаждении аустенит претерпевает мартенситное превращение. При режимах с $T_{\text{изо}}$ ниже температуры начала мартенситного превращения образуется пакетный мартенсит. Наряду с образованием нижнего бейнита при изотермической выдержке проходит процесс отпуска

пакетного мартенсита (рис. 2, в–е). Наряду с мартенситом отпуска также в структуре присутствует мартенсит охлаждения и нижний игольчатый бейнит. Кроме того, в промежутках между мартенситом и бейнитом остается непревращенное количество аустенита остаточного. С уменьшением $T_{\text{изо}}$ общая дисперсность структуры увеличивается. Иглы бейнита становятся мельче с более ровными и гладкими границами, что напоминает «ломаное сено».

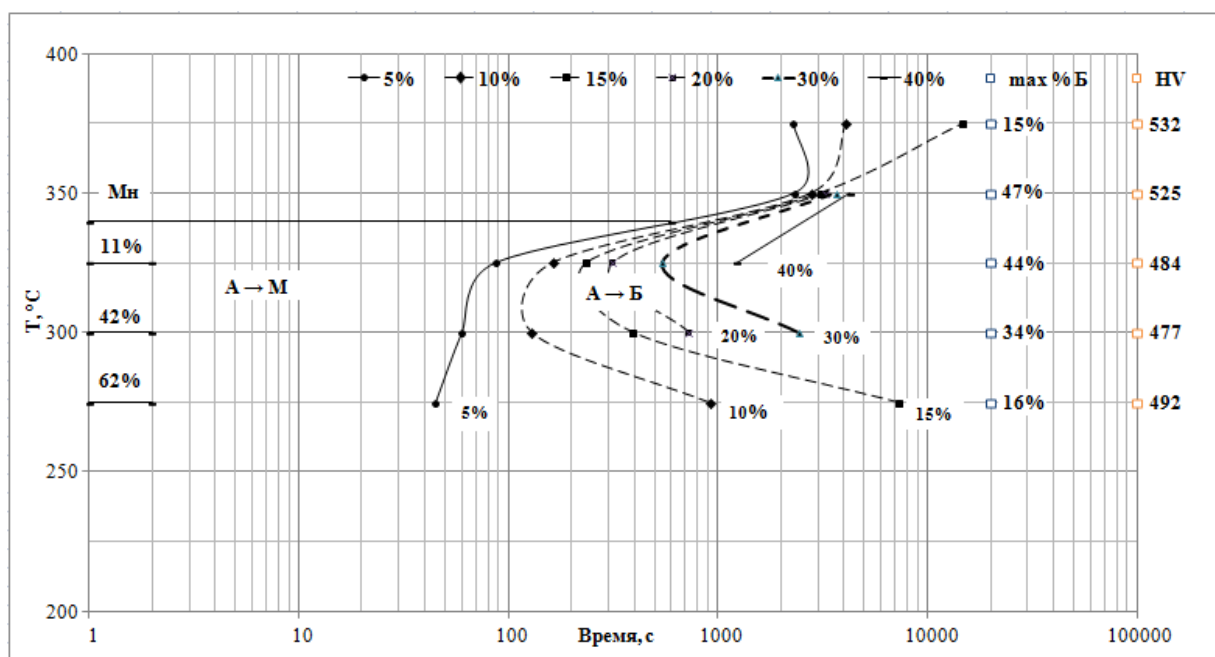


Рис. 1. Изотермическая диаграмма переохлажденного аустенита

При выявлении структурных составляющих наблюдается полосчатость (рис. 2). Заметны менее и более травящиеся области, особенно при травлении реактивом *LePera*, который дает более контрастную, а также цветную картину микроструктуры [3]. Происходит чередование мартенситных (светлых) и бейнитных (темных) полос, что связано с химической неоднородностью в материале [4, 5]. Скопление легирующих элементов происходит в мартенситных полосах, которые сопротивляются травлению наиболее сильно, по сравнению с теми местами, где сегрегаций легирующих элементов меньше. Такие полосы могут отрицательно влиять на характеристики надежности. Такое сильное влияние могут оказывать, предположительно, кремний и марганец. Реактив *LePera* позволяет более четко разграничить светло-травящиеся и темно-травящиеся области по сравнению с 4%-м раствором пикриновой кислоты в спирте, поэтому данный травитель планируется использовать в дальнейших исследованиях.

Изотермическая закалка стали 22Х2Г2С2МФ приводит к получению смешанной структуры: нижний игольчатый бейнит, мартенсит, аустенит остаточный. Нежелательной фазой является мартенсит охлаждения,

который, как предполагается, может значительно охрупчивать сталь, что в свою очередь может снижать в разы показатели ударной вязкости.

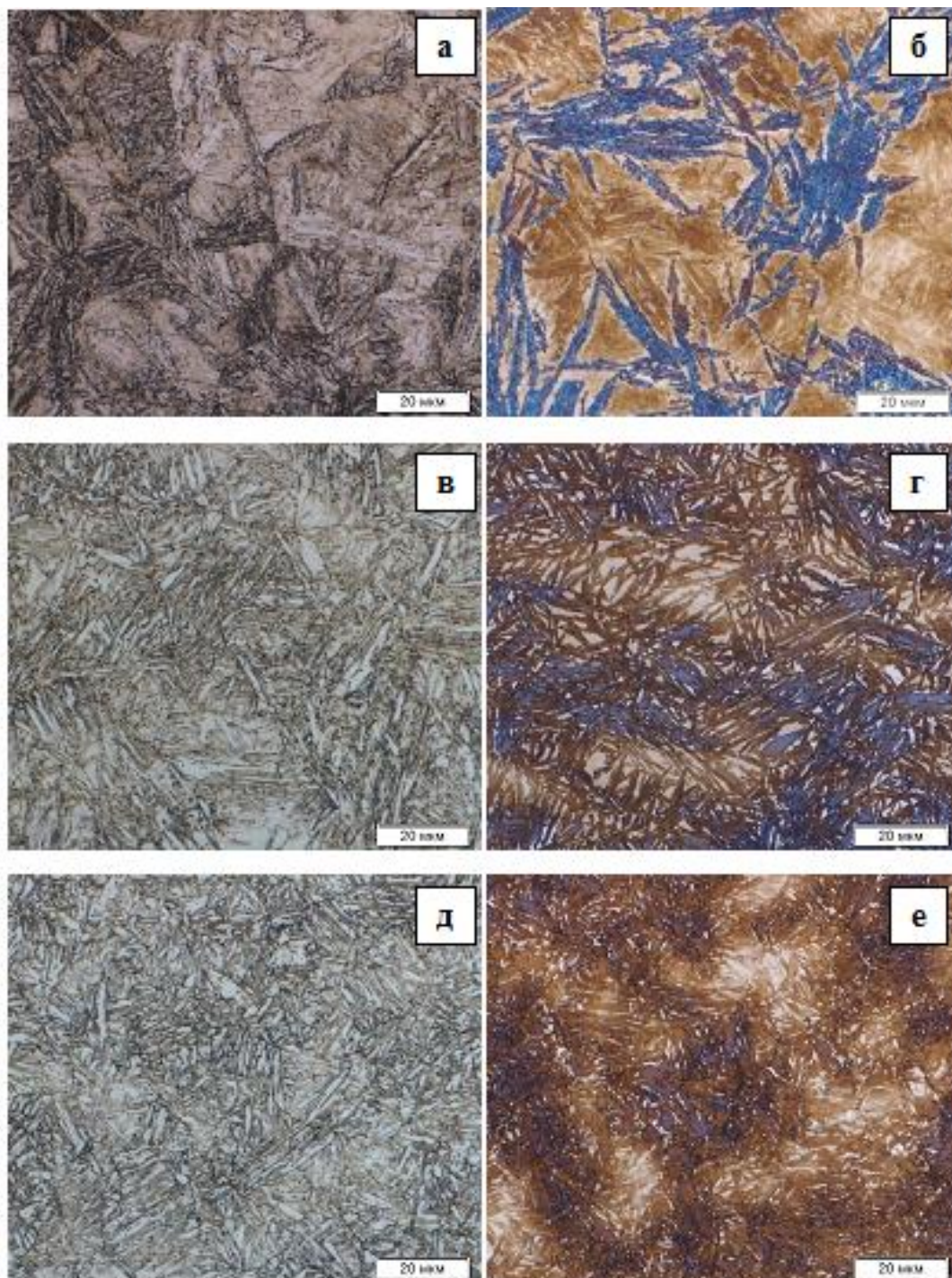


Рис. 2. Микроструктура исследованной стали: а, б – $T_{\text{изо}} = 375\text{ °C}$; в, г – $T_{\text{изо}} = 325\text{ °C}$; д, е – $T_{\text{изо}} = 275\text{ °C}$; а, в, д – травление 4%-м раствором пикриновой кислоты в спирте; б, г, е – травитель *LePera*; увеличение 1000 крат

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (договор № 02.G25.31.0134 от 01.12.2015 в

составе мероприятия по реализации постановления Правительства РФ №218).

ЛИТЕРАТУРА

1. Получение структуры нижнего бескарбидного бейнита в результате изотермической обработки сталей типа ХЗГЗМФС и ХНЗМФС / Ю. Н. Симонов [и др.] // МиТОМ. № 2. 2016. С. 4–13.
2. Попелюх П. А., Попелюх А. И., Юркевич М. Р. Комбинированная термомеханическая обработка стали с мартенсито-бейнитным превращением аустенита // Обработка металлов. 2013. № 2 (59). С. 62–68.
3. De Amar K., Speer John G., Matlock D.K. Color tint-etching for multiphase steels // Advanced materials & processes. February 2003. P. 27–30.
4. Complex microstructural banding of continuously cooled carbide-free bainitic steels / L. Morales-Rivas [et al.] // Materials Science Forum. Vols. 783–786. 2014. P. 980–985.
5. Bhadeshia H.K.D.H. Phase Transformations contributing to the properties of modern steels // Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences. 2010. 58 № 2.